



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I801424 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：107134304

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 09 月 28 日

(51)Int. Cl. : **H01J37/32 (2006.01)**

(30)優先權：2017/11/16 美國 62/587,418

2018/09/21 美國 16/138,375

(71)申請人：日商東京威力科創股份有限公司 (日本) TOKYO ELECTRON LIMITED (JP)
日本(72)發明人：趙 建平 ZHAO, JIANPING (US)；凡特薩克 彼得 L G VENTZEK, PETER L.G.
(US)；連恩 巴頓 LANE, BARTON (US)

(74)代理人：周良謀；周良吉

(56)參考文獻：

TW 514967B

TW 200929338A

US 2008/0023443A1

US 2010/0062613A1

US 2012/0283973A1

US 2017/0098527A1

WO 2012/035842A1

審查人員：曾宏仁

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：9 共 27 頁

(54)名稱

具有同步的信號調變之電漿處理系統及電漿處理方法

(57)摘要

一種使用電漿處理基板的系統和方法係被揭露。所述系統包括設置於電漿處理系統中且用以支撐基板的基板固持件，用以將第一頻率的第一信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第一信號產生器，及用以將第二頻率的第二信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第二信號產生器，其中第二頻率小於第一頻率。所述系統更包括用以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間的振幅調變電路，及用以定義振幅調變信號的計時電路，振幅調變信號係使第一信號的振幅調變與第二信號於每個週期的目標相位同步。

A system and method for using plasma to treat a substrate are described. The system includes a substrate holder disposed within a plasma processing system, and arranged to support a substrate, a first signal generator for coupling a first signal at a first frequency to plasma in the plasma processing system, and a second signal generator for coupling a second signal at a second frequency to plasma in the plasma processing system, wherein the second frequency being less than the first frequency. The system further includes an amplitude modulation circuit for modulating the first signal between a high amplitude state and a low amplitude state in response to an amplitude modulation signal, and a timing circuit configured to define the amplitude modulation signal that synchronizes the amplitude modulation of the first signal with a target phase for each cycle of the second signal.

指定代表圖：

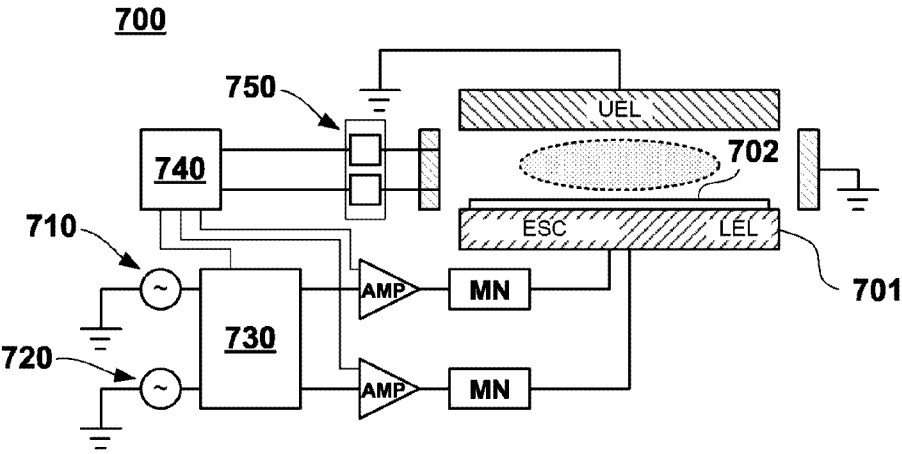


圖 7

符號簡單說明：

- 700:系統
- 701:基板固持件
- 702:基板
- 710:第一信號產生器
- 720:第二信號產生器
- 730:信號調變控制器
- 740:控制器
- 750:原處診斷器
- AMP:偏移頻率電路
- MN:阻抗匹配網路
- UEL:上板電極
- LEL:下板電極
- ESC:靜電卡盤



I801424

【發明摘要】

【中文發明名稱】 具有同步的信號調變之電漿處理系統及電漿處理方法

【英文發明名稱】 PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH SYNCHRONIZED
SIGNAL MODULATION AND METHOD FOR PLASMA PROCESSING

【中文】

一種使用電漿處理基板的系統和方法係被揭露。所述系統包括設置於電漿處理系統中且用以支撐基板的基板固持件，用以將第一頻率的第一信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第一信號產生器，及用以將第二頻率的第二信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第二信號產生器，其中第二頻率小於第一頻率。所述系統更包括用以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間的振幅調變電路，及用以定義振幅調變信號的計時電路，振幅調變信號係使第一信號的振幅調變與第二信號於每個週期的目標相位同步。

【英文】

A system and method for using plasma to treat a substrate are described. The system includes a substrate holder disposed within a plasma processing system, and arranged to support a substrate, a first signal generator for coupling a first signal at a first frequency to plasma in the plasma processing system, and a second signal generator for coupling a second signal at a second frequency to plasma in the plasma processing system, wherein the second frequency being less than the first frequency. The system further includes an amplitude modulation circuit for modulating the first signal between a high amplitude state and a low amplitude state in response to an amplitude modulation signal, and a timing circuit configured to define the amplitude

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

modulation signal that synchronizes the amplitude modulation of the first signal with a target phase for each cycle of the second signal.

【指定代表圖】 圖7

【代表圖之符號簡單說明】

700	系統
701	基板固持件
702	基板
710	第一信號產生器
720	第二信號產生器
730	信號調變控制器
740	控制器
750	原處診斷器
AMP	偏移頻率電路
MN	阻抗匹配網路
UEL	上板電極
LEL	下板電極
ESC	靜電卡盤

【發明說明書】

【中文發明名稱】 具有同步的信號調變之電漿處理系統及電漿處理方法

【英文發明名稱】 PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH SYNCHRONIZED SIGNAL MODULATION AND METHOD FOR PLASMA PROCESSING

【技術領域】

【0001】本申請案主張 2017 年 11 月 16 日申請之名為「PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH SYNCHRONIZED SIGNAL MODULATION」的美國專利臨時申請案 US 62/587,418 為優先權母案，其整體以參考文獻合併於此。

【0002】本發明係關於電漿處理之系統和方法，更具體而言，係關於用於對電子裝置應用進行蝕刻或沉積薄膜的電漿處理技術。

【先前技術】

【0003】電漿處理係用於藉由協助沉積或蝕刻材料於工件和從工件上進行材料之沉積或蝕刻以製造半導體積體電路的標準技術。在用於蝕刻和沉積兩者之應用的反應器設計中，為了滿足良率的需求，獲得可接受的度量（例如，蝕刻速率、沉積速率等）及其空間均勻性是重要的必要條件。若整個基板上從中心到邊緣的電漿密度已知是均勻的，則空間均勻性較容易獲得。在許多情況下，期望使用的電漿係在特高頻（VHF，very high frequency）範圍（30-300 MHz）的射頻（RF）頻率下產生，而不是在半導體處理中用來產生電漿的已成為標準射頻頻率的 13.56 MHz。

【0004】較高頻率的一些優點包括獲得較高電漿密度的電漿產生效率。電漿鞘的射頻電壓也較小，導致較低的離子能量和較少的腔室壁和基板（在這些地

方的濺射和破壞是需要考慮的問題)的轟擊。這些優點對於下一代蝕刻的要求特別有用。

【0005】在沉積應用中，高密度電漿特別用於離解主要分子。然而，經實驗發現，由 VHF 產生的電漿通常具有不均勻的徑向分佈。在 100 MHz 電漿的例子中，這可能相當明顯，而在電漿密度中具有尖銳的中心峰值。通常製程會需要高頻和低頻 RF 之混合亦是個例子。低頻 RF 功率提供較高的離子能量。經發現，對高頻 RF 功率添加低頻 RF 功率以非預期且隨著應用而變化的方式改變電漿密度分佈。

【發明內容】

【0006】本文的技術係關於使用電漿處理技術的元件製造。

【0007】於一實施例中，係敘述一種使用電漿處理基板的系統。所述系統包括設置於電漿處理系統中且用以支撐基板的基板固持件，用以將第一頻率的第一信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第一信號產生器，及用以將第二頻率的第二信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第二信號產生器，其中第二頻率小於第一頻率。所述系統更包括用以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間的振幅調變電路，及用以定義振幅調變信號的計時電路，振幅調變信號係使第一信號的振幅調變與第二信號於每個週期的目標相位同步。

【0008】於另一實施例中，係敘述一種使用電漿處理基板的方法。所述方法包括：放置基板於設置在電漿處理系統中的基板固持件上；使用第一信號產生器以第一頻率施加第一信號至形成在電漿處理系統中的電漿；使用第二信號產生器以第二頻率施加第二信號至形成在電漿處理系統中的電漿，第二頻率小於第一頻率；使用振幅調變電路以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀

態和低振幅狀態之間；以及控制相對於第二信號的第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間以獲得電漿的目標空間分佈。

【0009】於再一實施例中，係敘述一種使用電漿處理基板的系統。所述系統包括：設置於電漿處理系統中且用以支撐基板的基板固持件，用以將第一頻率的第一信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第一信號產生器，用以將第二頻率的第二信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第二信號產生器，第二頻率小於第一頻率，以及耦接於第二信號產生器的波形產生器，且其用以調整第二信號的波形和第二信號的佔空比，並控制相對於第二信號的第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間。

【0010】當然，如本文所述之不同步驟的討論次序已為清楚之目的呈現。一般而言，這些步驟可依任何合適的次序執行。此外，雖然本文中不同的特徵、技術、構造等之每一者可能在本揭露內容的不同地方討論，然欲使概念之每一者可彼此獨立或相互組合地執行。因此，本發明可以許多不同方式實施與查看。

【0011】應注意本發明內容部分並無指定本揭露內容或主張的發明之每一實施例及/或漸增的新穎實施態樣。取而代之，本發明內容僅提供不同實施例及相對應之勝過習知技術之新穎性重點的初步討論。對於本發明與實施例的附加細節及/或可行觀點，將導引讀者至以下進一步討論之本揭露內容的實施方式部分與對應圖式。

【圖式簡單說明】

【0012】在附圖中：

【0013】圖 1 係根據一實施例繪示的一電漿狀態的代表示意圖；

【0014】圖 2A 和 2B 係根據一實施例提供的證實一電漿狀態的示例性量測資料；

【0015】圖 3A 和 3B 係根據一實施例提供的證實一電漿狀態的另一示例性量測資料；

【0016】圖 4A 和 4B 係根據一實施例提供的證實一電漿狀態的再一示例性量測資料；

【0017】圖 5A 和 5B 係根據一實施例繪示的一種電漿處理方法；

【0018】圖 6A 和 6B 係根據一實施例繪示的一種電漿處理方法；

【0019】圖 7 係根據一實施例提供的一種電漿處理系統的示意圖；

【0020】圖 8 係根據一實施例提供的一種電漿處理方法的流程圖；以及

【0021】圖 9A 至 9D 係根據各種實施例提供的用於執行蝕刻或沉積方法的電漿處理系統的示意圖。

【實施方式】

【0022】本文的技術係關於使用電漿處理系統和方法的元件製造。各種示例顯示在半導體製造的前段製程（FEOL，front end of line，例如電晶體製造）到後段製程（BEOL，back end of line，例如互連製造）中均勻的處理對於元件良率是重要的。本文描述改變電漿狀態（包括電漿特性的空間分佈）的系統和方法，也包括使用量測信號的系統和方法，其可用於控制密度分佈。

【0023】作為示例，在大約 60 MHz 或更高的頻率時，由電漿反應器內的射頻（RF）系統發射的電磁波傳播的波長變得與腔室尺寸相當，且電磁效應變得重要。電場從低頻靜電場變為傳播波和駐波。取決於製程條件（例如功率、壓力、氣體化學品等）以及所量測的電漿特性，電漿特性分佈和所得的蝕刻或沉積速率可在整個基板或工件上變化。如圖 1 所示，在一些情況下，蝕刻（或沉積）速率 E/R 可具有「中心高」分佈 101 或「邊緣高」分佈 102。並且，期望能獲得

均勻的條件、或在預定規格內的空間均勻性，亦即，可接受的空間可變異程度或目標空間可變異程度。

【0024】於 VHF 頻率（例如 100 MHz）的波狀性質係已藉由使用磁場探針而量測，例如，不同電漿狀態（例如圖 1 所繪示的非均勻電漿狀態、或均勻電漿狀態（未繪示））的 dB/dt 來評估，其中 B 代表磁場且 t 是時間。如圖 2A 和 2B 所示，磁場探針量測係作為橫跨基板的空間位置（ x ）的函數。圖 2A 提供了與非均勻電漿狀態（201）相關聯的磁場之時間變化率的示例性空間量測，其具有多個零交點 210、211、212。相反地，圖 2B 提供了與均勻電漿狀態（202）相關聯的磁場之時間變化率的示例性空間量測，其具有一個零交點 220。此外，圖 3 提供了作為時間（ t ）的函數的示例性磁場探針量測。 dB/dt 的時間跡線 301 和 302 大致上是正弦的，除了時間跡線 301 在跡線於正相位中的信號峰值處表現出變化。此行為係代表在圖 2A 中的分佈 201 的空間特性，同時時間跡線 302 的行為係代表圖 2B 中的分佈 202 的空間特性。

【0025】發明人推測，非線性行為的存在與壓力和電漿密度（例如，耦合功率）等參數成比例，在某種程度上係與電漿鞘動力學和表面波產生相關聯。此外，電漿中心附近的非線性現象可能導致在奈秒的時間標度的瞬變行為，其比波週期的 10 ns 要短得多。此瞬變行為可能集中在 100 MHz 相位的一小部分內，且它的發生可能與密度分佈的峰值相關聯。發明人已進行了類似的實驗，用多頻系統（例如兩個頻率）以一相對低的頻率和一相對高的頻率驅動電漿。經發現，快速非線性瞬變僅發生在低頻振盪的特定相位。另發現，若 100 MHz 在低頻射頻的特定相位處進行振幅調變，則當 100 MHz 的包絡在低頻 RF 的特定相位處具有最大值時密度可被強烈地修正。

【0026】參照圖 4A 和 4B，資料集 401 和 402 的時間跡線（a~d）係代表在多頻電漿處理系統（類似於圖 7 繪示的系統）上收集的資料。多頻系統操作第

第 5 頁，共 15 頁(發明說明書)

一信號產生器以耦合第一頻率（例如，100 MHz（VHF 功率））的第一信號，以及操作第二信號產生器以耦合第二頻率（例如，3.2 MHz（LF 功率））的第二信號。每個資料集 401 和 402 包括在一個 LF 週期的 LF 時間跡線 LF1 和 LF2，以及在一個 LF 週期期間的四個 VHF 時間跡線 a~d 的 VHF 內容。如圖 4A 所示，資料集 401 在時間跡線 a~d 中對於 LF 功率（亦即，90W 到 400W）的變化表現出弱的 VHF 調變，這部分是由於相對高的電子密度（例如，高的 VHF 功率）。然而，如圖 4B 所示，資料集 402 在時間跡線 a~d 中對於 LF 功率（亦即，90W 到 400W）的變化表現出強的 VHF 調變，這部分是由於相對高的壓力和相對低的電子密度。

【0027】發明人已觀察到在低頻時間標度上低頻 RF (LF) 改變了電漿的形狀，且隨著電漿形狀改變，100 MHz 的電磁波的傳播係受到影響。由於 100 MHz 的波傳播驅動電離作用，因此在低頻信號的特定相位或相位範圍內最大化 100 MHz 的波傳播的包絡導致密度分佈的改變。作為此見解的結果，係提出系統和方法用於改變電漿特性，包括處理電漿的空間分佈。發明人推測低頻 RF 的作用是使電漿中的電子移動，使得在電漿和反應器的各個壁之間的鞘擴張或收縮。這種擴張或收縮天生是隨著低頻 RF 頻率（LF）具有週期性的。高頻 RF（VHF）的傳播和波結構取決於鞘的本質，且在特定鞘的配置期間，高頻信號經由非線性相互作用更有效地耦合至電漿，以產生不同於經由其它鞘配置獲得之密度分佈的密度分佈。

【0028】根據一實施例，第一信號（例如，高頻 RF（VHF））可在第二信號（例如，低頻 RF（LF））的目標相位之期間被耦合。舉例來說，高頻射頻的應用局限於特定的鞘配置。如圖 5A 所示，第一頻率（例如，VHF）的第一信號 501 和第二頻率（例如，LF）的第二信號 502 耦合至電漿，且 VHF 的振幅係在電漿鞘擴張的期間增加。第二信號 502（亦即，低頻波形）可由單一正弦波形組

成，且第一信號 501（亦即，高頻波形）可由振幅調變過的正弦波形組成，並可局限於第二信號 502 的特定相位中。在其它實施例中，第二信號 502 是非正弦的。舉例來說，在特定的瞬時低頻射頻電壓下，對於均勻的高頻波傳播而言鞘配置可能是最佳的。低頻波形係可成形使得此特定射頻電壓發生在低頻 RF 週期的較長部分。在這種情況下，高頻 RF 包絡的最大值可在持續時間內擴展並且佔據最佳的低頻週期之部分。

【0029】根據各種實施例，第一信號 501 的振幅係根據振幅調變信號 510 進行調變。振幅調變信號 510 可由振幅 511 和波形形狀 512 特徵化，其中兩者之一者可在時間上變化或不變化。圖 5A 繪示了方波，但波形形狀可包括正弦曲線、鋸齒形或任何任意形狀。振幅調變信號 510 還可由脈衝寬度 513、第二信號的目標相位 514 和相對於第二信號的相位偏移 515 特徵化，其中任何一者可在時間上變化或不變化。舉例來說，關於目標相位，第一信號 501 的振幅調變可在電漿鞘的擴張期間與第二信號 502 的負週期（亦即，圖 5A 中的 $3\pi/2$ 處）同步。振幅調變的開始可在目標相位 514 之前，如相位偏移 515 所指示的。振幅調變可與脈衝寬度 513 一起捕獲目標相位 514，並佔據第二信號 502 的相位的一部分。

【0030】在一替代實施例中，低頻 RF (LF) 波形可設計以打造特定的鞘配置，並定義高頻 RF (VHF) 的有效耦合的持續時間。在此實施例中，低頻 RF 的佔空比係被調整。舉例來說，如圖 6A 所示，第一頻率（例如，VHF）的第一信號 601 和第二頻率（例如，LF）的第二信號 602 耦合至電漿，且第二信號 602 的佔空比被調整以增加或減少電漿鞘擴張的持續時間及，因此，VHF 的耦合效率。佔空比（%）等於脈衝寬度 610 與信號週期 615 的比率。圖 6A 繪示小於 50% 的佔空比。圖 6B 繪示大於 50% 的佔空比。

【0031】如發明人所確定的對基礎物理過程的理解，還提供了監視和控制改變電漿特性之有效性的系統和方法。如上所述，對於半導體設備的硬體和製程

而言，再現性（**reproducibility**）可能具有挑戰性。設備偏差和匹配是再現性挑戰的示例。為了提供可再現的結果，具有一個可被監控和利用的信號以控制設備硬體和製程是重要的。如圖 2A~2B、3A~3B 和 4A~4B 所示，高頻瞬變行為可在電漿內（例如，在電漿邊緣）檢測，且與低頻波形的振幅和相位關係可用作控制診斷。然後，控制診斷可用於修正保持高頻包絡不變的低頻波形的形狀，或是在保持低頻波形不變的同時修正高頻的包絡，或是同時修正兩者。

【0032】發明人已確認，調整用於在低頻信號內容（例如，**LF**）的低電壓狀態對低頻信號內容的高電壓狀態之期間耦合高頻信號內容（例如，**VHF**）的相對持續時間，係允許調整電漿狀態，包括中心到邊緣的電漿空間分佈（例如，電漿密度、離子或電子、或兩者）。舉例來說，增加用於在低電壓狀態期間（亦即，在電漿鞘擴張期間）耦合高頻信號內容的相對持續時間係增加了邊緣處的電漿密度並減少了中心處的電漿密度。另外，舉例來說，使高頻信號內容的脈衝或調變同步於、接近或至少部分地包含在低頻信號內容的低電壓狀態期間的持續時間，係促進了邊緣處的電漿密度相對於中心處的電漿密度之增加，及/或類似地，中心處的電漿密度相對於邊緣處的電漿密度之減少。或者是，減小用於在低電壓狀態期間（亦即，在電漿鞘擴張期間）耦合高頻信號內容的相對持續時間係增加了中心處的電漿密度。另外，舉例來說，使高頻信號內容的脈衝或調變同步於、接近或至少部分地包含在低頻信號內容的高電壓狀態期間的持續時間係促進了邊緣處的電漿密度相對於中心處的電漿密度之減少，及/或類似地，中心處的電漿密度相對於邊緣處的電漿密度之增加。經由信號調變，如本文所述，發明人已建立了系統和方法用於調變電漿特性的，包括所述特性的空間分佈之調變。

【0033】根據各種實施例，圖 7 提供了用於電漿處理的系統 700 的示意圖。系統 700 包括設置在系統 700 中的基板固持件 701，其用以支撐基板 702。系統 700

更包括用以將第一頻率的第一信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第一信號產生器 710，及用以將第二頻率的第二信號耦合至電漿處理系統中的電漿的第二信號產生器 720，第二頻率小於第一頻率。在一實施例中，第一頻率超過 10 MHz，且第二頻率小於 15 MHz。或者是，第一頻率超過 50 MHz，且第二頻率小於 15 MHz。或者是，第一頻率的範圍從 50 到 150 MHz，且第二頻率的範圍從 1 MHz 到 15 MHz。或者是，第一頻率超過 50 MHz，且第二頻率小於 5 MHz。或者是，第一頻率的範圍從 50 到 150 MHz，且第二頻率的範圍從 1 MHz 到 5 MHz。或者是，第一頻率的範圍從 50 到 150 MHz，且第二頻率的範圍為從 0.1 MHz 到 5 MHz。

【0034】信號調變控制器 730 係耦合至第一信號產生器 710 和第二信號產生器 720，並用以控制第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間，以獲得電漿的目標空間分佈。根據一實施例，信號調變控制器 730 包括用以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間的振幅調變電路、以及用以定義振幅調變信號的計時電路，振幅調變信號係使第一信號的振幅調變與第二信號於每個週期的目標相位同步。作為示例，高振幅狀態可為通電狀態，且低振幅狀態可為斷電狀態。

【0035】如圖 5A 所示，計時電路定義了與第二信號的目標相位同步的振幅調變信號，振幅調變信號包括脈衝寬度、脈衝振幅、脈衝偏移、脈衝佔空比及脈衝波形形狀。振幅調變信號可為週期性的或非週期性的（例如，參照圖 5B）。而且，如圖 5A 和 5B 所示，振幅調變信號包括在脈衝寬度、脈衝振幅、脈衝佔空比及脈衝波形形狀的至少一者上之變化。

【0036】根據另一實施例，信號調變控制器 730 包括波形產生器，波形產生器耦合至第二信號產生器 720，且用以調整第二信號的波形和第二信號的佔空比及控制第一信號和電漿的最佳耦合的持續時間。如圖 6A 所示，波形產生器可將

波形的佔空比從小於 50% 的值（圖 6A）改變為大於 50% 的值（圖 6B）。對於圖 6A 中描繪的情況，舉例來說，在施加高頻信號內容的期間減小低頻信號內容的佔空比係促使邊緣處的電漿密度相對於中心處的電漿密度之增加，及/或類似地，中心處的電漿密度相對於邊緣處的電漿密度之減少。對於圖 6B 中描繪的情況，舉例來說，在施加高頻信號內容的期間增加低頻信號內容的佔空比係促使邊緣處的電漿密度相對於中心處的電漿密度之減少，及/或類似地，中心處的電漿密度相對於邊緣處的電漿密度之增加。波形產生器可產生任何形式的信號，包括正弦波、方波、鋸齒波等。正弦波可包括諧波內容的混合，以打造波形的形狀。

【0037】再次參照圖 7，系統 700 可包括控制器 740，其用以接收與橫跨基板 702 的電漿特性的空間分佈相關的資料，並指示信號調變控制器（例如，計時電路以調整振幅調變信號、或波形產生器以調整波形）以獲得目標空間分佈。此外，系統 700 可包括用以量測與電漿特性的空間分佈相關的資料的量測系統（未繪示）、或是耦合至電漿處理系統的原處（in-situ）診斷器 750，其用以量測與電漿特性的空間分佈相關的資料。

【0038】用於第一和第二信號的功率耦合電路可包括用於調變信號振幅（例如，功率放大器）、偏移相位及/或偏移頻率（例如，圖 7 中的「AMP」）的電路。另外，功率耦合電路可包括具有可變電力元件、電容器及/或電感器的阻抗匹配網路（例如，圖 7 中的「MN」），其用以且被設計成將信號產生器的輸出阻抗匹配於包括電漿的電漿處理電路。

【0039】根據各種實施例，圖 8 繪示電漿處理的方法。如流程圖 800 所示，所述方法包括：在步驟 810 中，放置基板在設置於電漿處理系統內的基板固持件上；在步驟 820 中，使用第一信號產生器以第一頻率施加第一信號至形成在電

漿處理系統中的電漿；以及在步驟 830 中，使用第二信號產生器以第二頻率施加第二信號至形成在電漿處理系統中的電漿，第二頻率小於第一頻率。

【0040】所述方法更包括：在步驟 840 中，控制第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間，以獲得電漿的目標空間分佈。在一實施例中，當控制最佳耦合的持續時間時，信號調變可包括：使用振幅調變電路以回應振幅調變信號而調變第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間，並使用計時電路以定義振幅調變信號，振幅調變信號用以使第一信號的振幅調變與第二信號於每個週期的目標相位同步，以控制第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間。在另一實施例中，當控制最佳耦合的持續時間時，信號調變可包括：使用波形產生器來調變第二信號的波形及第二信號的佔空比，並控制第一信號與電漿的最佳耦合的持續時間。所述方法更可包括感測電漿的狀態，以及根據感測的電漿狀態改變信號調變。

【0041】圖 9A 至 9D 提供了幾種電漿產生系統，其可用以利於結合上述實施例的電漿處理。圖 9A 繪示了電容性耦合電漿 (CCP, capacitively coupled plasma) 系統，其中電漿係形成鄰近於在上板電極 UEL 和下板電極 LEL 之間的基板，下電極亦用作靜電卡盤 ESC 以支撐和保持基板。電漿係藉由將射頻 (RF) 功率耦合到至少一電極來形成。如圖 9A 所示，RF 功率係耦合到上電極和下電極兩者，且功率耦合可包括不同的 RF 頻率。選擇性地，多個 RF 功率源可耦合到同一電極。此外，直流 (DC) 功率可以耦合到上電極及/或下電極。

【0042】圖 9B 繪示了電感性耦合電漿 (ICP, inductively coupled plasma) 系統，其中電漿係形成鄰近於在電感元件 (例如，平面或螺線管/螺旋線圈) 和下板電極 LEL 之間的基板，下電極亦用作靜電卡盤 ESC 以支撐和保持基板。電漿係藉由將射頻 (RF) 功率耦合到電感性耦合元件來形成。如圖 9B 所示，RF 功率係耦合到電感元件和下電極兩者，且功率耦合可包括不同的 RF 頻率。

【0043】圖 9C 繪示了表面波電漿（SWP，surface wave plasma）系統，其中電漿係形成鄰近於在槽孔平面天線和下板電極（LEL）之間的基板，下電極亦用作靜電卡盤（ESC）以支撐和保持基板。電漿係藉由將射頻（RF）功率以微波頻率經由波導和同軸線耦合到槽孔平面天線來形成。如圖 9C 所示，RF 功率係耦合到槽孔平面天線和下電極兩者，且功率耦合可包括不同的 RF 頻率。

【0044】圖 9D 繪示了遠程電漿系統，其中電漿係形成在遠離基板的區域中並藉由過濾器與基板分離，過濾器用以阻止帶電粒子從遠程電漿源傳輸到鄰近於基板的處理區域。基板由下板電極（LEL）支撐，下板電極亦用作靜電卡盤（ESC）以保持基板。電漿係藉由將射頻（RF）功率耦合到與位於遠程之區域相鄰的電漿產生裝置來形成。如圖 9D 所示，RF 功率係耦合到與遠程區域相鄰的電漿產生裝置和下電極兩者，且功率耦合可包括不同的 RF 頻率。

【0045】圖 9A 至 9D 的電漿處理系統旨在說明用於實現所述的蝕刻及/或沉積（成膜）製程的各種技術。其它實施例係預期包括所述之系統的組合和變化。

【0046】在以下的申請專利範圍中，任何附屬項之限制可取決於任何獨立項。

【0047】在先前描述中，已提出特定細節，像是處理系統的特定幾何結構與在其中所用的各種元件與製程的描述。然而，應理解本文技術可在偏離這些特定細節的其它實施例中實現，且這樣的細節係為說明而非限制的目的。在此揭露的實施例已參照附圖描述。類似地，為解釋之目的，提出特定數字、材料、及構造以提供徹底了解。然而，實施例可在缺少這樣的特定細節下實現。具有實質相同功能結構的元件以相同的參考符號表示，並因此省略任何冗餘的描述。

【0048】為了有助於理解各種實施例，各種技術係描述為複數分立操作。描述的次序不應被理解成暗示這些操作必定為次序相依。尤其，這些操作不需以

呈現之次序執行。所述之操作可依不同於所述實施例中的次序而執行。於其它的實施例中，可執行各種附加操作及/或省略所描述的操作。

【0049】如同在此所用之「基板」或「目標基板」通常指依據本發明正進行製程之物件。基板可包括元件（尤其是半導體或其它電子元件）之任何材料的部分或結構，並且可例如為基礎基板結構（像是半導體晶圓）、初縮遮罩、或基礎基板結構上或覆蓋基礎基板結構之層（例如薄膜）。因此，基板不受限於任何特定的基礎結構、底層或覆蓋層、圖案化或未圖案化，而是設想到包括任何這樣的層或基礎結構、及層及/或基礎結構之任何組合。描述可能參照特定的基板樣式，但這僅為說明性目的。

【0050】本領域之技術人員應理解可對以上說明的技術操作做出許多變化，而仍達到本發明之相同目的。欲使這樣的變化由本揭露內容的範疇所覆蓋。因此，不欲使本發明實施例的先前描述係限制性的。相反，對本發明實施例的任何限制將在以下申請專利範圍中呈現。

【符號說明】

【0051】

101、102、201、202	分佈
E/R	蝕刻速率
210、211、212、220	零交點
301、302	時間跡線
401、402	資料集
VHF	特高頻
LF	低頻
LF1、LF2	低頻時間跡線

a~d	時間跡線
501、601	第一信號
502、602	第二信號
510	振幅調變信號
511	振幅
512	波形形狀
513	脈衝寬度
514	目標相位
515	相位偏移
610	脈衝寬度
615	週期
700	系統
701	基板固持件
702	基板
710	第一信號產生器
720	第二信號產生器
730	信號調變控制器
740	控制器
750	原處診斷器
AMP	偏移頻率電路
MN	阻抗匹配網路
UEL	上板電極
LEL	下板電極
ESC	靜電卡盤

800 流程圖

810～840 步驟

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】一種使用電漿處理基板的系統，包括：

一基板固持件，設置於一電漿處理系統中，且用以支撐一基板；

一第一信號產生器，用以將一第一頻率的一第一信號耦合至該電漿處理系統中的電漿，該電漿包括一電漿鞘；

一第二信號產生器，用以將一第二頻率的一第二信號耦合至該電漿處理系統中的該電漿，該第二頻率小於該第一頻率，其中該第二信號係具有該第二頻率的一低頻（LF）正弦波形；

一計時電路，用以定義一振幅調變信號為包含一系列的脈衝，其各自在該電漿鞘的擴張期間與該 LF 正弦波形的一對應負週期同步，其中該系列的脈衝每一者的脈衝寬度包含小於該 LF 正弦波形之該第二頻率的半個週期的持續時間；以及

一振幅調變電路，用以回應該振幅調變信號而調變該第一信號於一高振幅狀態和一低振幅狀態之間，在該 LF 正弦波形之負週期的期間，該第一信號處於該高振幅狀態。

【第 2 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該第一頻率超過 10 MHz，且該第二頻率小於 15 MHz。

【第 3 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該第一頻率超過 50 MHz，且該第二頻率小於 5 MHz。

【第 4 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該第一頻率的範圍從 50 到 150 MHz，且該第二頻率的範圍從 0.1 MHz 到 5 MHz。

【第 5 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該高振幅狀態係為一通電狀態，且該低振幅狀態係為一斷電狀態。

【第 6 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該振幅調變信號包括一脈衝寬度、一脈衝振幅、一脈衝偏移、一脈衝佔空比及一脈衝波形形狀。

【第 7 項】如請求項 6 之使用電漿處理基板的系統，其中該振幅調變信號係為週期性的或非週期性的。

【第 8 項】如請求項 6 之使用電漿處理基板的系統，其中該振幅調變信號包括在該脈衝寬度、該脈衝振幅、該脈衝佔空比及該脈衝波形形狀的至少一者上之變化。

【第 9 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，更包括：

一控制器，用以接收與橫跨該基板的一電漿特性的一空間分佈相關的資料，並指示該計時電路調整該振幅調變信號以獲得一目標空間分佈。

【第 10 項】如請求項 9 之使用電漿處理基板的系統，更包括：

一量測系統，用以量測與該電漿特性的該空間分佈相關的資料。

【第 11 項】如請求項 9 之使用電漿處理基板的系統，更包括：

一原處診斷器，耦接至該電漿處理系統，且用以量測與該電漿特性的該空間分佈相關的資料。

【第 12 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該第一信號和該第二信號係耦接至該基板固持件。

【第 13 項】如請求項 1 之使用電漿處理基板的系統，其中該第一信號係耦接至與該基板固持件相對的一電極或天線，且該第二信號係耦接至該基板固持件。

【第 14 項】一種電漿處理方法，包括：

放置一基板於設置在一電漿處理系統中的一基板固持件上；

使用一第一信號產生器以一第一頻率施加一第一信號至形成在該電漿處理系統中的電漿，該電漿包括一電漿鞘；

使用一第二信號產生器以一第二頻率施加一第二信號至形成在該電漿處理系統中的該電漿，該第二頻率小於該第一頻率，其中該第二信號係具有該第二頻率的一低頻（LF）正弦波形；以及

藉由使用包含一系列的脈衝的一振幅調變信號來調變該第一信號，控制該第一信號與該電漿的最佳耦合的一持續時間以獲得該電漿的一目標空間分佈，該系列的脈衝各自在該電漿鞘的擴張期間與該 LF 正弦波形的一對應負週期同步，且該系列的脈衝每一者的脈衝寬度包含小於該 LF 正弦波形之該第二頻率的半個週期的持續時間。

【第 15 項】如請求項 14 之電漿處理方法，其中控制該第一信號與該電漿的最佳耦合的該持續時間以獲得該電漿的該目標空間分佈包括一信號調變，該信號調變包括：

（i）使用一振幅調變電路以回應該振幅調變信號而調變該第一信號於高振幅狀態和低振幅狀態之間，並使用一計時電路定義該振幅調變信號，該振幅調變信號用以使該第一信號的該振幅調變與該第二信號於每個週期的一目標相位同步，以控制該第一信號與該電漿的最佳耦合的該持續時間；或

（ii）使用一波形產生器以調變該第二信號的一波形及該第二信號的一佔空比，且控制該第一信號與該電漿的最佳耦合的該持續時間。

【第 16 項】如請求項 15 之電漿處理方法，更包括：

感測該電漿的一狀態；

根據感測之該電漿的該狀態改變該信號調變。

【第 17 項】一種使用電漿處理基板的系統，包括：

一基板固持件，設置於一電漿處理系統中，且用以支撐一基板；

一第一信號產生器，用以將一第一頻率的一第一信號耦合至該電漿處理系統中的電漿，該電漿包括一電漿鞘；

一第二信號產生器，用以將一第二頻率的一第二信號耦合至該電漿處理系統中的電漿，該第二頻率小於該第一頻率，其中該第二信號係具有該第二頻率的一低頻（LF）正弦波形；

一計時電路，用以定義一振幅調變信號為包含一系列的脈衝，其各自在該電漿鞘的擴張期間與該 LF 正弦波形的一對應負週期同步，其中該系列的脈衝每一者的脈衝寬度包含小於該 LF 正弦波形之該第二頻率的半個週期的持續時間；

一振幅調變電路，用以回應該振幅調變信號而調變該第一信號於一高振幅狀態和一低振幅狀態之間，在該 LF 正弦波形之負週期的期間，該第一信號處於該高振幅狀態；以及

一控制器，用以接收與橫跨該基板的一電漿特性的一空間與時間分佈相關的資料，並指示該計時電路調整該振幅調變信號以獲得一目標空間分佈。

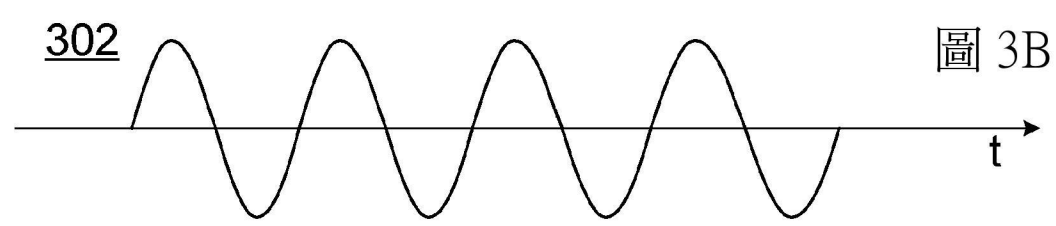
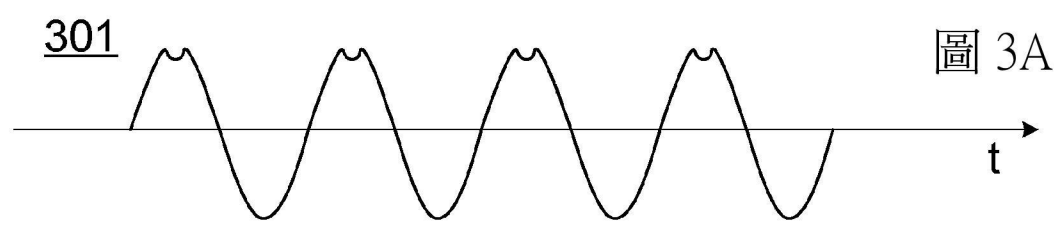
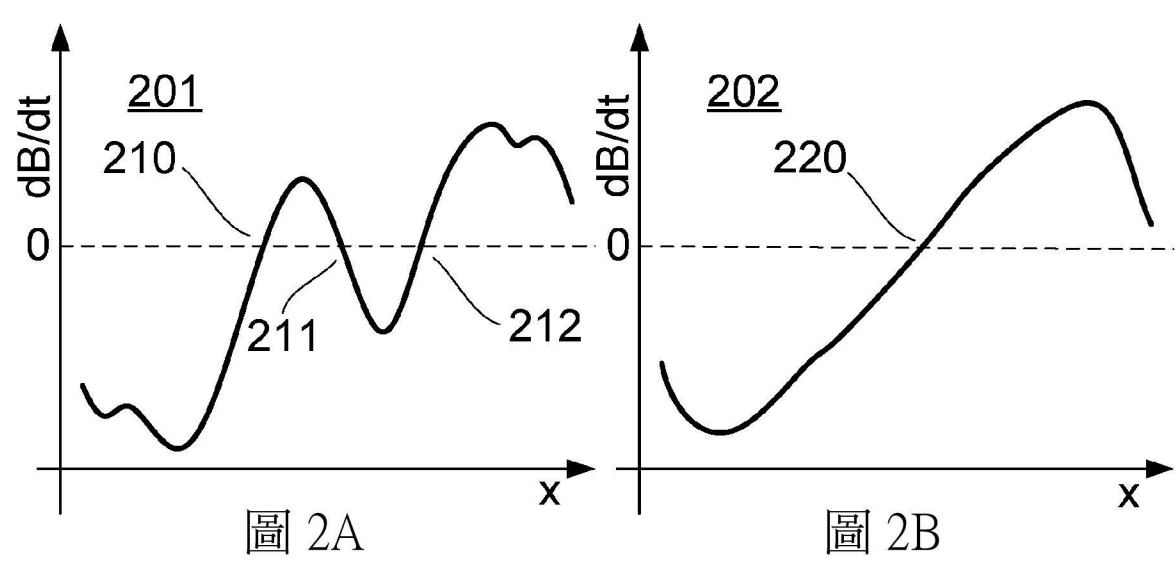
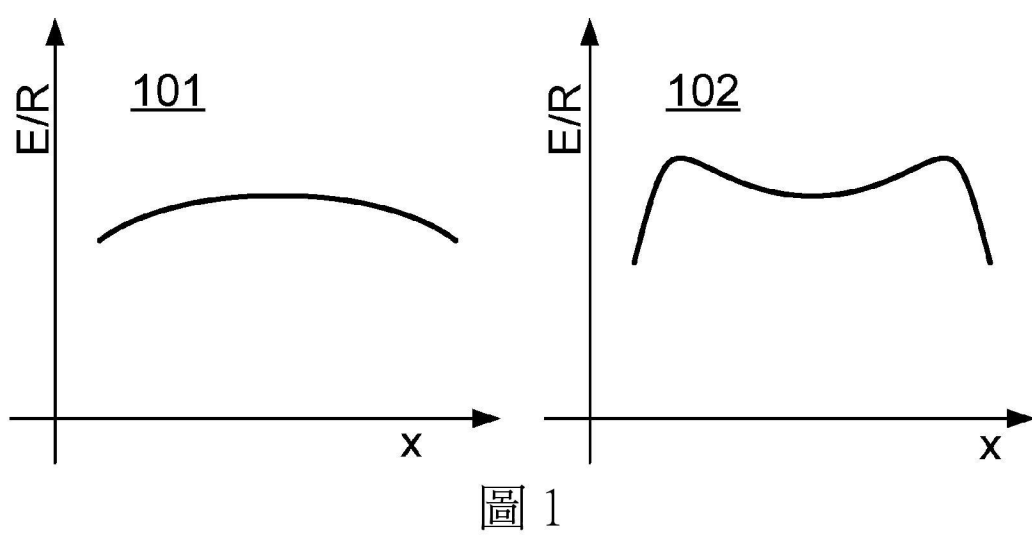
【第 18 項】如請求項 17 之使用電漿處理基板的系統，更包括：

一原處診斷器，耦接至該電漿處理系統，且用以量測與該電漿特性的該空間與時間分佈相關的資料。

【第 19 項】如請求項 17 之使用電漿處理基板的系統，其中該振幅調變信號為週期性的。

【第 20 項】如請求項 17 之使用電漿處理基板的系統，其中該振幅調變信號為非週期性的。

【發明圖式】



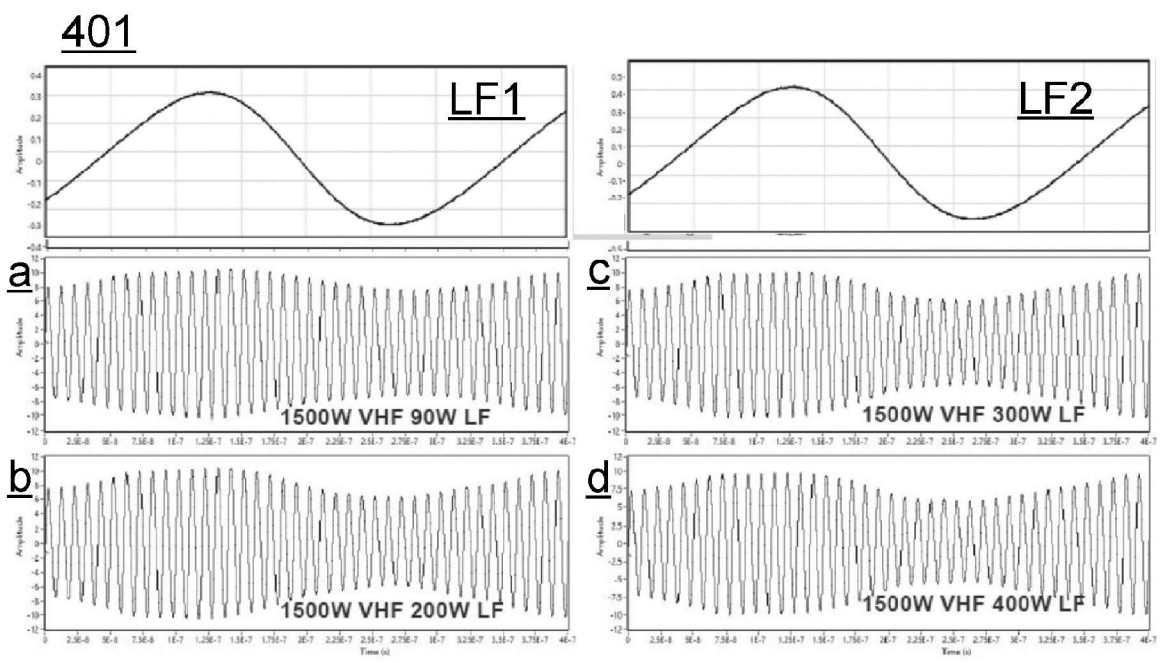


圖 4A

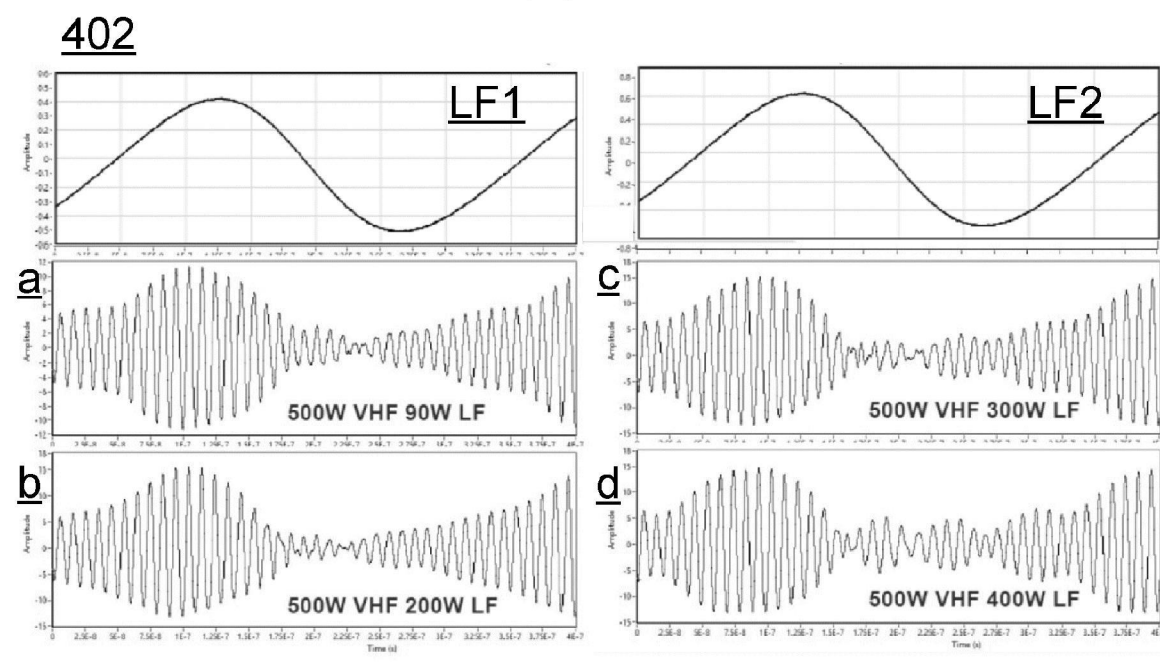


圖 4B

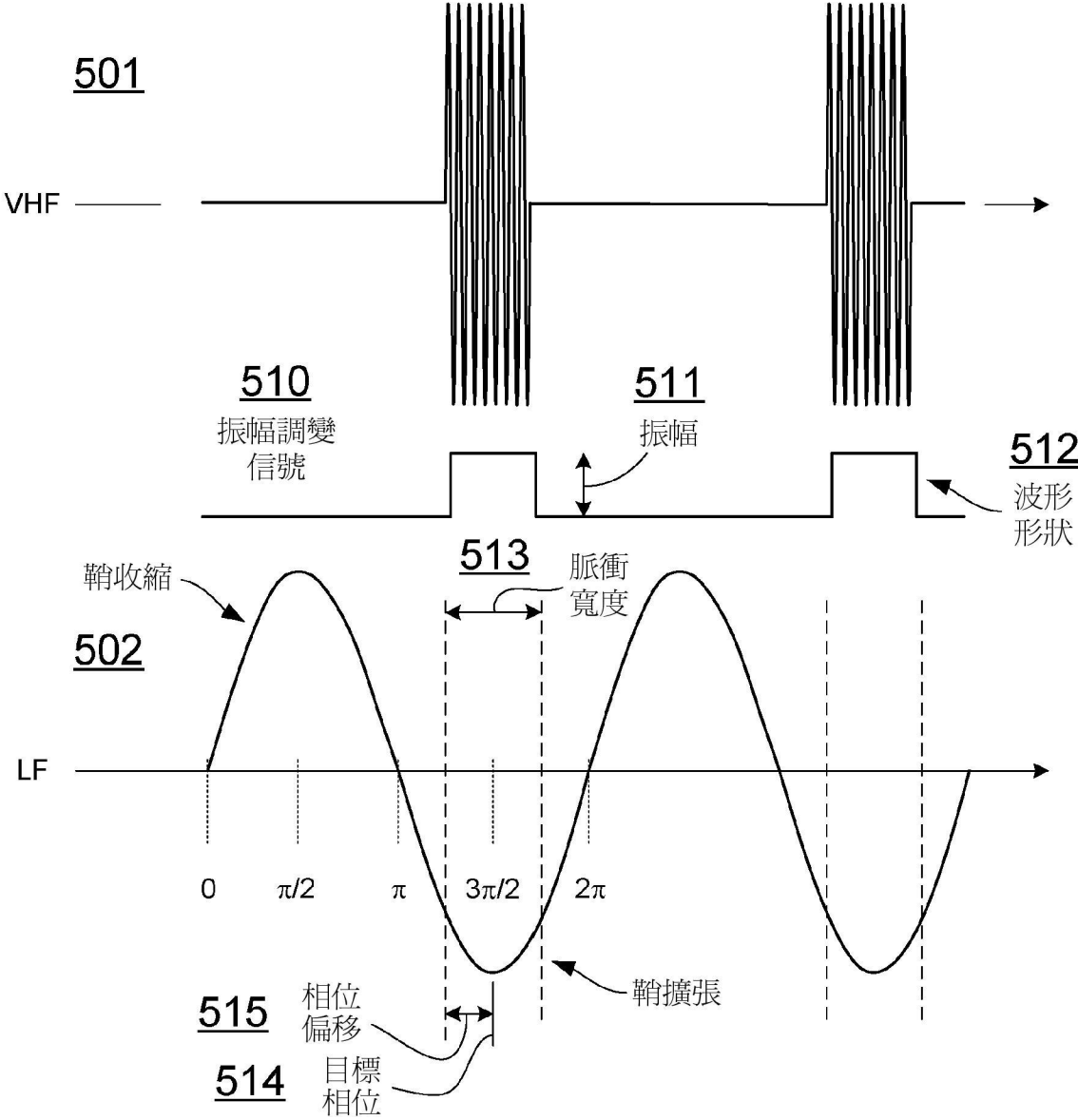


圖 5A

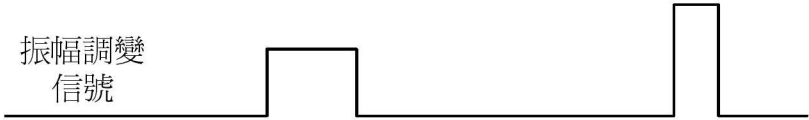


圖 5B

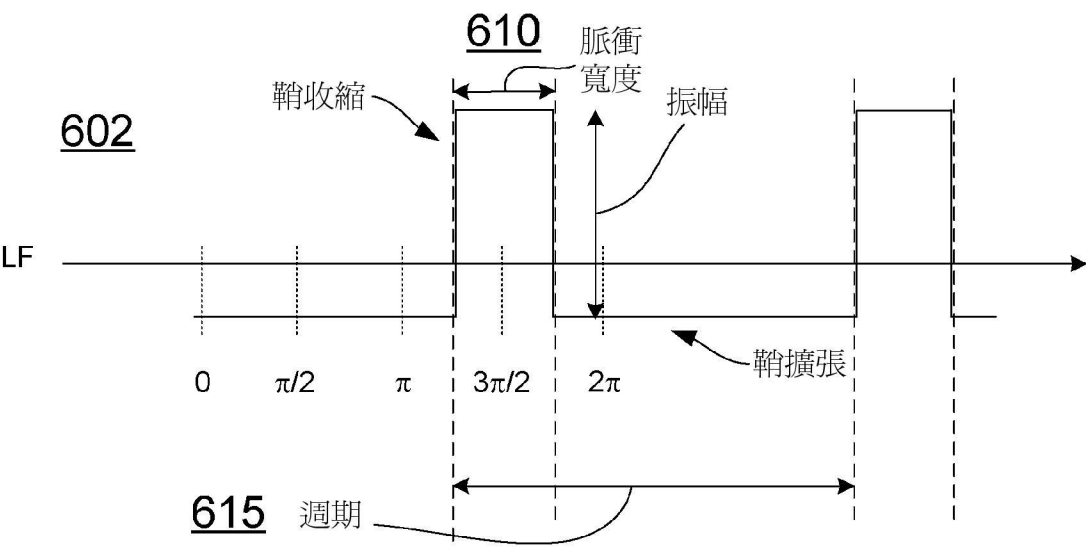
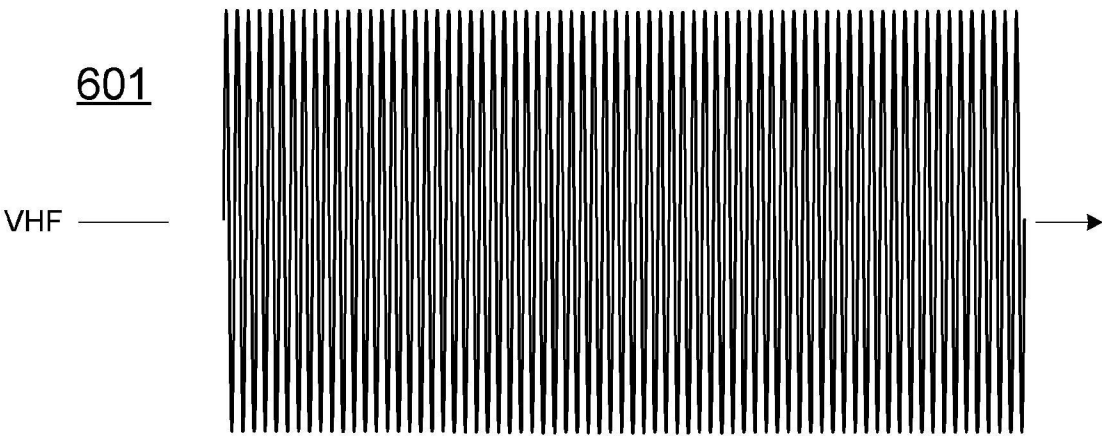


圖 6A

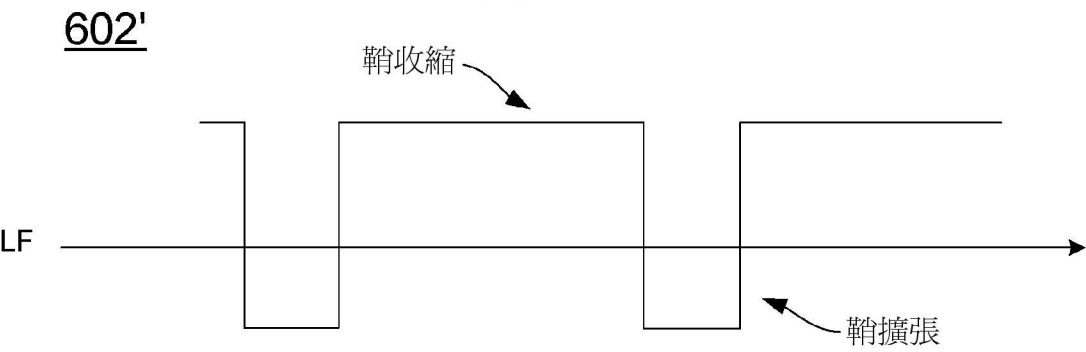


圖 6B

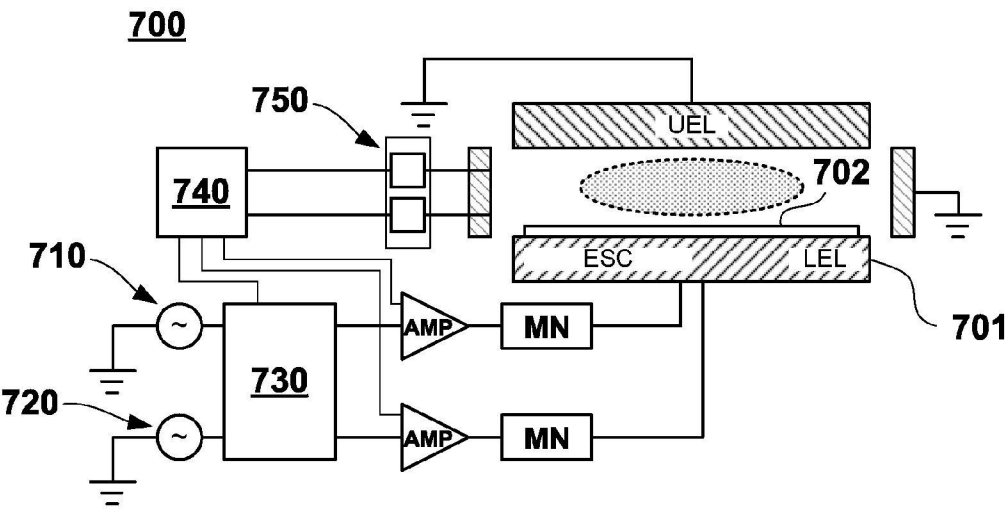


圖 7

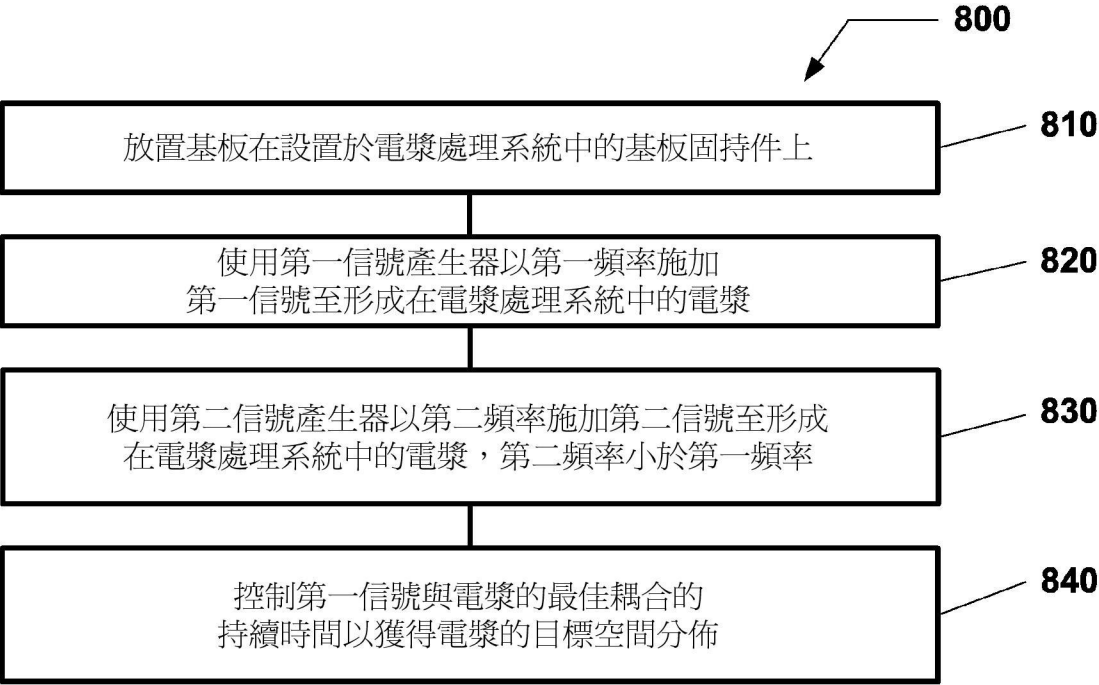


圖 8

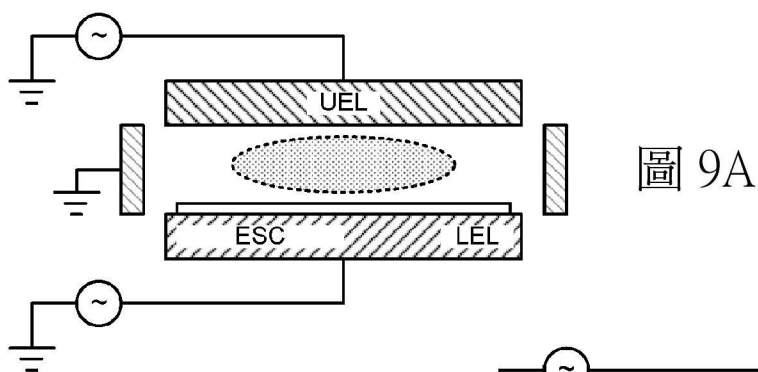


圖 9A

圖 9B

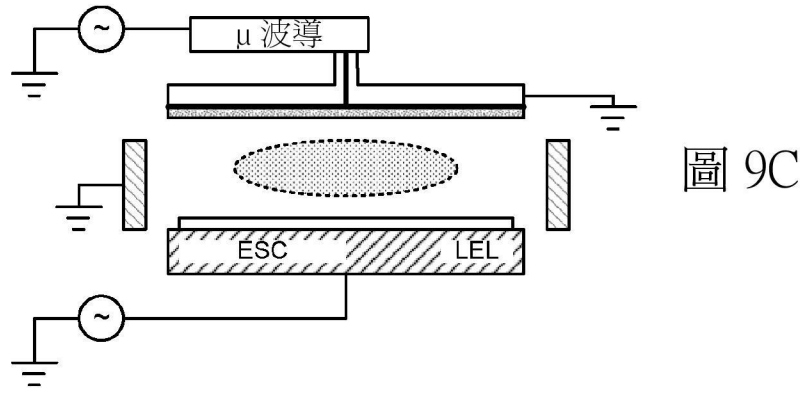
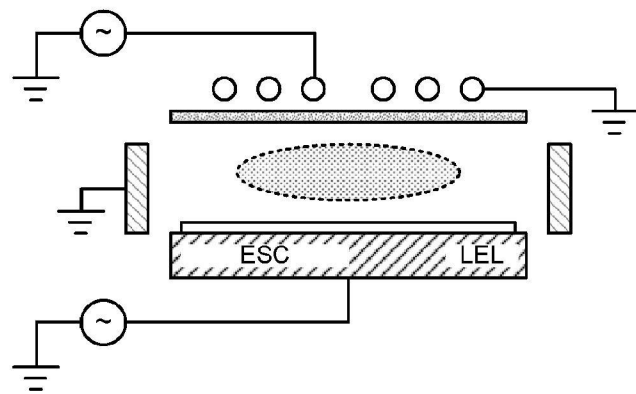


圖 9C

圖 9D

